Technical Note

Public Works Canada / Travaux publics Canada

Solar Programs Office (613) 998-9817

No. 27: November 1984

Wind Loading on Solar Collectors

1. SYNOPSIS

In the past, solar system designers have paid little attention to the structural effects of wind loading on solar collectors. Testing carried out at the National Solar Test Facility (NSTF) for positive and negative uniform loading represents a set of conditions that covers, in most instances, weather conditions encountered in Canada. There are, however, conditions which may cause solar collectors to experience loading higher than that to which they were tested. These conditions are described to allow the system designer to account for wind loading.

The designer should select the best collector mounting method to minimize loading conditions on collectors.

2. INTRODUCTION

This technical bulletin describes the wind loads to which solar collectors are exposed. Also, it provides the changes in these loads under different mounting conditions.

In the National Building Code of Canada (1980), live loads due to wind are calculated using the following equation:

$$p = q\ Ce\ Cg\ Cp \qquad (1)$$

where p = the external static pressure (kPa), either positive or negative, acting in a direction normal to the surface.

q = reference velocity pressure (kPa) for the location being considered. The chance of its being exceeded is specified as 1/10, 1/30 or 1/100 years [1], [2].

Note: Solar collectors are categorized as cladding and therefore the 1/10-year velocity pressure is normally used.

Ce = exposure factor determined by the height of the building, as shown in the following table:

Building Height (m)	0 to 6	6 to 12	12 to 20	20 to 30
Exposure Factor (Ce)	.9	1.0	1.1	1.2

For buildings taller than 30 m, the NBC should be consulted to obtain the correct value of Ce.

Cg = gust effect factor (considered to be 2.5 for cladding) [1].

Cp = external pressure coefficient averaged over the area of the surface considered [1], [2].

Currently, the testing performed at the NSTF for uniform loading of collectors is 1.5 kPa for positive loading and 2.0 kPa for negative or suction pressures.

Wind tunnel testing of the forces on solar collectors under various mounting configurations used new coefficients developed from the 1980 NBC coefficients. The results of the testing have been used to calculate the data in this note. The locations and conditions under which the NSTF test pressures are exceeded in the field are indicated. Under these conditions, modifications should be made to the array mounting to reduce the wind loading or a retesting of the collector should be performed at the higher pressure anticipated.

3. FLAT ROOF MOUNTED COLLECTORS

3.1 General

The wind tunnel testing examined a number of installation-related factors and helped determine coefficients to predict collector loading [3]. The most significant factors were the relative location of the collector in an array and the effect of reflector plates on the collector backs.

The value of the external pressure coefficient, Cp, for solar collectors is not given in the Supplement to the National Building Code [2]. Accordingly, the product Cg.Cp has been replaced by the new variable Cfn. Experimental testing was conducted to determine the possible values of Cfn.

The equation used to calculate the static pressure on collectors for flat roof mounting is

$$p = q\ Ce\ Cfn \qquad (2)$$

where p, q and Ce are as previously described.

Cfn = peak normal force coefficient as determined by wind tunnel testing; the sign convention followed is positive for a downforce and negative for uplift (suction).

The design pressure in the NBC, based on limit state design, includes a safety factor of 1.5. This is considered as the minimum safe pressure the designer can use to account for wind loads under normal conditions. Provisions should be made to ensure that both collectors and the mounting structure will withstand the design pressure in the locations and situations for which collector loading may exceed the NSTF test limits.

With the built-in factor of safety, the design pressure ensures that the collector will survive the 1/10-year level of wind loading and gives a much increased life expectancy to the collector.

3.2 Base Case

The following test conditions were considered to form the base case:

- single row of collectors spanning the width of the roof and located halfway between the north and south ends
- collector slope of 45° to the horizontal
- the base of the collector is elevated 1 meter above the roof surface
- building height between 6 and 12 m.

3.2.1 Centre Collectors

It was found during wind tunnel testing that collectors located close to the center of the array experience a lower loading than the collectors at the ends of the array due to the accelerated wind velocities and vorticies found at the ends of the array.

The peak normal force coefficient, Cfn, for the centre collectors is $\pm$ 3.6.

3.2.2 Edge Collectors

Collectors located at the end of an array are subject to higher wind forces due to the accelerated wind velocities which create vorticies at both ends of the collector array.

The higher collector loading affects the edge collectors and gradually decreases towards the centre of the array. The peak normal force coefficent on the edge collectors is $\pm$ 5.2. It is good engineering practice to design the entire array to withstand the higher wind forces.

3.3 Mounting Position Along Roof

Moving the collector array either north or south along the roof results in increased loading on the central collectors and decreased loading on the end collectors. The forces change by roughly 10%.

In the event that the collectors are mounted along either the north or south edge of the roof, the loading on the centre collectors is roughly 10% higher as compared to the base case.

3.4 Collector Clearance Above Roof

It was found that increasing the clearance between the collectors and the roof from 1 m to 3 m resulted in a slight increase in the loading of less than 10%. This effect can be attributed to the reduced aerodynamic interference between the roof surface and the collector.

The effect on the centre and edge collectors can be considered to be the same as in the base case.

3.5 Collector Angle

Centre and edge collectors are subject to a 10% reduction in the loading when sloped at 30°, while at 60° they experience a loading of 10% more than the base case at a 45° slope.

If collectors are to be mounted at either a 30° or a 60° slope, the loads may be determined by referring to the base case in Table 1 for centre and edge collectors.

3.6 Effect of Roof Parapets on Collector Loading

3.6.1 Centre Collectors

The addition of a parapet wall to the building was found to increase the loading on the centre collectors by approximately 10% when the parapet height is equal to the collector clearance above the roof surface. If the parapet height is increased to twice the collector clearance, then the loading drops by 10%.

Under either condition the designer may consider the loading to be equivalent to that given in the base case for centre collectors.

3.6.2 Edge Collectors

The effect of a parapet wall on edge collectors is to reduce the loading no matter what the height of the parapet. At a parapet height equal to the collector-to-roof clearance the loading is 70% of that without a parapet. At a parapet height twice the collector-to-roof clearance the loading is reduced to less than 60% of that experienced without a parapet.

The pressure on edge collectors for roofs with parapets is given in Table 1 for various cities.

3.7 Shielding Effect of Neighbouring Collector Rows

There is no shielding effect on the loading of the southernmost row whether a 5 m, 7.5 m or 10 m row spacing is used and regardless of whether the collector is a centre or edge collector.

The loading on the centre collectors of the intermediate collector rows can be reduced to 57% of that experienced in the base case. However, it is good engineering practice to discount this reduction as using collectors with different uniform load resisting characteristics on the same job is not practical.

3.8 Effect of Reflector Plates

Reflector plates as referred to here are plates which extend from the top of the solar collector to the roof to close in the back of the array. The addition of these plates reduces the loading on both centre and edge collectors. It should be noted however, that the load is transferred directly to the mounting structure. The mounting structure must be designed with this in mind.

The loading on the centre and edge panels was reduced by 57% and 72% respectively. For all locations given in the table, collectors with reflector plates do not experience a load greater than 2.0 kPa.

It should be noted that reflector plates may cause an increase in snow loads on the mounting structure [5].

3.9 Two-Tier Collector Arrays

The effect of two-tier collectors is a marginal reduction in the loading of the second tier. As this reduction is less than 5%, it is recommended that the loading of centre and edge collectors be used as given in the base case.

4.0 PITCHED ROOF INSTALLATIONS

4.1 Base Case

A roof slope of 4/12 was chosen as the base case for wind tunnel tests. This is typical of many houses in Canada. The collector array was located with the base of the collector directly above the south wall of the house with no clearance between the collector base and the roof. Collectors were sloped at 45° with respect to the horizontal.

Equation (2), presented in the base case for flat roof mounted collectors, can also be used to calculate the static pressure on pitched roof installations. The force coefficient (Cfn) used is $\pm$ 3.8.

In pitched roof arrays all collectors are affected by vortices that originate at the edge of the roof. As a result, collectors cannot be differentiated into centre and edge collectors.

Since the difference in loading between the flat and pitched roof mounting is only 5% the loading experienced in the pitched roof base case configuration can be considered the same as for centre collectors on flat roofs.

4.2 Mounting Collectors Near Roof Peaks

Mounting collectors low on the south-facing roof produces a shelter effect from north winds. Conversely mounting them near the peak of the roof increases the loading forces (see Table 1).

4.3 Collector Clearance Above Roof

When the clearance between the base of the collector and the roof is increased to between 0.5 and 1 metre, the loading on the collector is increased by 45% over that experienced in the base case. The design values for the elevated collectors are given in Table 1.

4.4 Reflector Plates

The effect of installing reflector plates on collectors mounted on a pitched roof is to reduce the loading on the collectors by 10%. These plates extend from the top of the collector to the roof surface.

It should be noted that the reduction in the loading is transferred to the collector support structure and thus to the roof.

5.0 GROUND-MOUNTED COLLECTORS

When collectors are ground mounted at a 45° slope with a clearance of 1 m from the base of the collector to the ground, the loading is reduced by 20% as compared to roof-mounted collectors. It should be noted that the edge collectors experience the same loading as the centre collectors. The design pressures are given in Table 1 for the locations listed.

6.0 CONCLUSION

Solar system designers should be aware of site conditions that could affect the wind loading on solar collectors. If possible, systems should be mounted in such a way that the NSTF test limits are not exceeded (i.e. 1.5 kPa for positive loading and 2.0 kPa for negative loading). Note that the wind loading for cities not included in Table 1 can be calculated using equation (2) given in this note and the one-in-ten wind pressures obtained from the supplement to the National Building Code of Canada.

7.0 REFERENCES

(1) "National Building Code of Canada 1980", issued by the Associate Committee on the National Building Code, National Research Council of Canada, NRCC No. 17303.

(2) "The Supplement to the National Building Code of Canada 1980", issued by the Associate Committee on the National Building Code, National Research Council of Canada, NRCC No. 17724.

(3) Irwin, P.A. and Gamble, S.L., "Wind Loads on Solar Collectors", Solar Energy Program, Report No. Coll-15, National Research Council, July 1982.

(4) Allen, D.E., "Structural Criteria for Solar Collectors", Building Structure Division, National Research Council, February 1982.

(5) Irwin, P.A., Gamble, S.L. and Lepage, M.F.L. Report, "Snow and Wind Loads on Solar Collectors", Report No. 04SX.31155-2-2701, National Research Council, April 24, 1984.

TABLE 1

LOCATION	q_{10}	BASE CASE		FLAT-ROOF-MOUNTED COLLECTORS		PITCHED-ROOF-MOUNTED COLLECTORS		
		Centre Collectors	Edge Collectors	Edge Collectors on Roof with Parapet	Edge Collectors with Reflector Plates	Collectors Near Peak	Collector Clearance Above Roof	Ground-Mounted Collectors
	(kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)
ALBERTA								
Banff	0.39	2.11	3.04	2.13	2.34	2.13	2.34	
Calgary	0.40	2.16	3.12	2.18	2.40	2.18	2.40	
Coronation	0.23							
Edmonton	0.32		2.50					
Fort McMurray	0.27		2.11					
Grande Prairie	0.37		2.89	2.02	2.22	2.02	2.22	
Jasper	0.37		2.89	2.02	2.22	2.02	2.22	
Lethbridge	0.64	3.46	4.99	3.49	3.84	3.49	3.84	3.04
Medicine Hat	0.39	2.11	3.04	2.13	2.34	2.13	2.34	
Peace River	0.24							
Red Deer	0.31		2.42					
BRITISH COLUMBIA								
Abbotsford	0.42	2.27	3.28	2.29	2.52	2.29	2.52	
Castlegar	0.23							
Comox	0.45	2.43	3.51	2.46	2.70	2.46	2.70	
Cranbrook	0.22							
Fort Nelson	0.19							
Fort St. John	0.31		2.42					
Kamloops	0.30		2.34					
Penticton	0.40	2.16	3.12	2.18	2.40	2.18	2.40	
Port Hardy	0.49	2.65	3.82	2.68	2.94	2.68	2.94	2.33
Prince George	0.25							
Prince Rupert	0.42	2.27	3.28	2.29	2.52	2.29	2.52	
Revelstoke	0.24							
Terrace	0.36		2.81		2.16		2.16	
Vancouver	0.45	2.43	3.51	2.46	2.70	2.46	2.70	
Victoria	0.48	2.59	3.74	2.62	2.88	2.62	2.88	2.28
Williams Lake	0.30		2.34					

NOTE: Blank spaces in the table indicate that the design pressure for the given mounting conditon at this location is lower than the NSTF testing limits.

LOCATION	q_{10} (kPa)	BASE CASE		FLAT-ROOF-MOUNTED COLLECTORS		PITCHED-ROOF-MOUNTED COLLECTORS		
		Centre Collectors Design (kPa)	Edge Collectors Design (kPa)	Edge Collectors on Roof with Parapet Design (kPa)	Edge Collectors with Reflector Plates Design (kPa)	Collectors Near Peak Design (kPa)	Collector Clearance Above Roof Design (kPa)	Ground-Mounted Collectors Design (kPa)
MANITOBA								
Brandon	0.37		2.89	2.02	2.22	2.02	2.22	
Churchill	0.48	2.59	3.74	2.62	2.88	2.62	2.88	2.28
Dauphin	0.31		2.42					
The Pas	0.35		2.73		2.10		2.10	
Thomson	0.49	2.65	3.82	2.68	2.94	2.68	2.94	2.33
Winnipeg	0.35		2.73		2.10		2.10	
NEW BRUNSWICK								
Chatham	0.29		2.26					
Fredericton	0.30		2.34					
Moncton	0.46	2.48	3.59	2.51	2.76	2.51	2.76	2.19
Saint John	0.38	2.05	2.96	2.07	2.28	2.07	2.28	
NEWFOUNDLAND								
Gander	0.46	2.48	3.59	2.51	2.76	2.51	2.76	2.19
Goose Bay	0.29		2.26					
St. John's	0.60	3.24	4.68	3.28	3.60	3.28	3.60	2.85
Stephenville	0.62	3.35	4.84	3.39	3.72	3.39	3.72	2.95
NORTHWEST TERRITORIES								
Aklavik	0.37		2.89	2.02	2.22	2.02	2.22	
Fort Smith	0.30		2.34					
Frobisher Bay	0.56	3.02	4.37	3.06	3.36	3.06	3.36	2.66
Inuvik	0.39	2.11	3.04	2.13	2.34	21.3	2.34	
Resolute	0.52	2.81	4.06	2.84	3.12	2.84	3.12	2.47
Yellowknife	0.34		2.65		2.04		2.04	

NOTE: Blank spaces in the table indicate that the design pressure for the given mounting conditon at this location is lower than the NSTF testing limits.

LOCATION	q_{10}	BASE CASE		FLAT-ROOF-MOUNTED COLLECTORS		PITCHED-ROOF-MOUNTED COLLECTORS		
		Centre Collectors	Edge Collectors	Edge Collectors on Roof with Parapet	Edge Collectors with Reflector Plates	Collectors Near Peak	Collector Clearance Above Roof	Ground-Mounted Collectors
	(kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)
NOVA SCOTIA								
Halifax	0.40	2.16	3.12	2.18	2.40	2.18	2.40	
Sydney	0.47	2.54	3.67	2.57	2.82	2.57	2.82	2.23
Truro	0.37		2.89	2.02	2.22	2.02	2.22	
Yarmouth	0.41	2.21	3.20	2.24	2.46	2.24	2.46	
ONTARIO								
Armstrong	0.21							
Earlton	0.32		2.50					
Kapuskasing	0.23							
Kenora	0.20							
Kingston	0.35		2.73		2.10		2.10	
London	0.36		2.81		2.16		2.16	
Moosonee	0.19							
Mount Forest	0.29		2.26					
Muskoka	0.19							
North Bay	0.26		2.03					
Ottawa	0.30		2.34					
Simcoe	0.33		2.57		1.98		1.98	
Sudbury	0.29		2.26					
Thunder Bay	0.25							
Timmins	0.25							
Toronto	0.39	2.11	3.04	2.13	2.34	2.13	2.34	
Trenton	0.35		2.73		2.10		2.10	
Wiarton	0.33		2.57		1.98		1.98	
Windsor	0.29		2.26					
PRINCE EDWARD ISLAND								
Charlottetown	0.46	2.48	3.59	2.51	2.76	2.51	2.76	2.19

NOTE: Blank spaces in the table indicate that the design pressure for the given mounting conditon at this location is lower than the NSTF testing limits.

LOCATION	q_{10}	BASE CASE		FLAT-ROOF-MOUNTED COLLECTORS		PITCHED-ROOF-MOUNTED COLLECTORS		
		Centre Collectors	Edge Collectors	Edge Collectors on Roof with Parapet	Edge Collectors with Reflector Plates	Collectors Near Peak	Collector Clearance Above Roof	Ground-Mounted Collectors
	(kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)	Design (kPa)
QUEBEC								
Bagotville	0.27		2.11					
Baie Comeau	0.55	2.97	4.29	3.00	3.30	3.00	3.30	2.61
Maniwaki	0.24							
Mont Joli	0.54	2.92	4.21	2.95	3.24	2.95	3.24	2.57
Montreal	0.31		2.42					
PS D L BA	0.64	3.46	4.99	3.49	3.84	3.49	3.84	3.04
Quebec	0.38	2.05	2.96	2.07	2.28	2.07	2.28	
Rivière du Loup	0.41	2.21	3.20	2.24	2.46	2.24	2.46	
Schefferville	0.33		2.57		1.98		1.98	
Sherbrooke	0.21							
Val d'Or	0.24							
SASKATCHEWAN								
Estevan	0.42	2.27	3.28	2.29	2.52	2.29	2.52	
Prince Albert	0.26		2.03					
Regina	0.34		2.65		2.04		2.04	
Saskatoon	0.36		2.81		2.16		2.16	
Swift Current	0.46	2.48	3.59	2.51	2.76	2.51	2.76	2.19
Yorkton	0.32		2.50					
YUKON								
Dawson City	0.20							
Whitehorse	0.28		2.18					

NOTE: Blank spaces in the table indicate that the design pressure for the given mounting conditon at this location is lower than the NSTF testing limits.

Guide technique

Travaux publics Canada | Public Works Canada

Bureau des programmes solaires (613) 996-9817

N° 27: novembre 1984

Charges dues aux vents exercées sur les capteurs solaires

1. SOMMAIRE

Par le passé, les concepteurs de systèmes solaires ont accordé peu d'attention aux effets structuraux créés par les charges dues aux vents s'exerçant sur les capteurs solaires. Des essais menés à l'Installation nationale d'essais solaires (INES) sur les charges positives et négatives uniformes dues aux vents couvrent la plupart des conditions climatiques normales du Canada. Il existe toutefois d'autres conditions qui peuvent faire que les charges s'exerçant sur les capteurs solaires soient supérieures à celles des essais. Ces conditions sont précisées pour permettre au concepteur de bien tenir compte des charges dues aux vents.

A cet égard, le concepteur doit d'ailleurs choisir la meilleure méthode de montage des capteurs pour réduire au minimum les charges dues aux vents s'exerçant sur ceux-ci.

2. INTRODUCTION

Le présent bulletin technique définit les charges dues aux vents auxquelles les capteurs solaires sont exposés. Il précise également quelle est la variation de ces charges en fonction des diverses conditions de montage.

Les charges dues aux vents se calculent dans le Code national du bâtiment du Canada (1980) à l'aide de l'équation suivante:

$$p = q\ Ce\ Cg\ Cp \qquad (1)$$

dans laquelle

p = pression statique extérieure (kPa), positive ou négative, s'exerçant dans une direction normale à la surface.

q = pression dynamique de référence (kPa) pour l'emplacement envisagé. La probabilité annuelle qu'elle soit dépassée est, selon les cas, de 1/10, 1/30 ou 1/100 [1], [2].

Note: Les capteurs solaires sont assimilés au revêtement extérieur; par conséquent, la probabilité annuelle normalement utilisée est de 1/10.

Ce = coefficient d'exposition, basé sur la hauteur de l'immeuble, déterminé à l'aide du tableau suivant:

Hauteur de l'immeuble (m)	0 to 6	6 to 12	12 to 20	20 to 30
Coefficient d'exposition (Ce)	.9	1.0	1.1	1.2

Les coefficients d'exposition pour les immeubles d'une hauteur supérieure à 30 m sont donnés dans le Code national du bâtiment.

Cg = coefficient de rafale (égal à 2,5 pour le revêtement extérieur [1].

Cp = coefficient de pression extérieure, calculé d'après la moyenne des valeurs sur la surface considérée [1], [2].

Les méthodes courantes d'essai sous charge uniforme de l'INES prévoient que les capteurs doivent être exposés à des pressions positives de 1,5 kPa et à des pressions négatives de 2,0 kPa.

Dans les essais en soufflerie de détermination des forces s'exerçant sur les capteurs solaires en fonction de divers modes de montage, les nouveaux coefficients utilisés ont été établis à partir des coefficients donnés dans le Code national du bâtiment de 1980. Les résultats des essais ont servi à calculer les données présentées dans ce bulletin. Les emplacements et les conditions pour lesquels des pressions d'essai de l'INES sont dépassées sur le terrain sont indiqués. Pour ces emplacements et conditions, il y a lieu de modifier le mode de montage afin de réduire les charges dues aux vents ou encore exécuter de nouveaux essais des capteurs sous les hautes pressions prévues.

3. CAPTEURS MONTÉS SUR TOIT PLAN

3.1 Généralités

Les essais en soufflerie ont permis d'étudier un certain nombre de facteurs propres au mode d'installation et ont aidé à déterminer les coefficients permettant de prévoir la charge des capteurs [3]. Les facteurs les plus importants sont la position relative du capteur dans le réseau et l'effet du montage de plaques réflectrices au dos du réseau.

La valeur du coefficient de pression extérieure, Cp, n'est pas précisée dans le Supplément du Code national du bâtiment du Canada [2] pour les capteurs solaires. En conséquence, le produit Cg.Cp a été remplacé par une nouvelle variable, Cfn. Des essais expérimentaux ont permis de déterminer les valeurs possibles de Cfn.

L'équation ayant servi à calculer la pression statique s'exerçant sur les capteurs montés sur toit plan est:

$$p = q\ Ce\ Cfn \qquad (2)$$

dans laquelle p, q et Ce ont été précisés antérieurement, et

Cfn = coefficient de force normale de crête déterminé par essais en soufflerie; par convention, ce coefficient est positif pour une force s'exerçant vers le bas et négative pour une force s'exerçant vers le haut (aspiration).

La pression théorique donnée dans le Code national du bâtiment, basée sur des calculs aux états limites, inclut un facteur de sécurité de 1,5. Cette pression est considérée comme étant la pression de sécurité minimale que le concepteur peut employer pour tenir compte des charges dues aux vents dans des conditions normales. Des dispositions doivent être prises pour garantir que les capteurs et la structure de montage pourront supporter la pression théorique aux endroits et dans les situations pour lesquels la charge des capteurs peut dépasser les limites des essais de l'INES.

Grâce à l'incorporation d'un facteur de sécurité, la pression théorique garantit que le capteur pourra supporter la charge due aux vents d'une probabilité annuelle de 1/10, ce qui en accroît de beaucoup la durée de vie prévue.

3.2 Cas de référence

Les conditions d'essai ci-après constituent les conditions de référence:

- rangée unique de capteurs s'étendant sur toute la largeur du toit et montée à mi-chemin des bords nord et sud du toit
- inclinaison des capteurs de 45°
- base des capteurs située à 1 mètre de la surface du toit
- hauteur du bâtiment se situant entre 6 et 12 m.

3.2.1 Capteurs centraux

Il a été constaté pendant les essais en soufflerie que les capteurs situés près du centre du réseau subissent une charge moindre que les capteurs situés aux extrémités du réseau, en raison de la présence de vents de vitesse accrue et de turbulences aux extrémités du réseau.

Le coefficient de force normale de crête, Cfn, des capteurs centraux est $\pm$ 3,6.

3.2.2 Capteurs d'extrémité

Les capteurs situés aux extrémités d'un réseau subissent des forces dues aux vents plus grandes car la vitesse accrue du vent crée des turbulences aux deux extrémités du réseau.

Les surcharges ainsi créées sont plus grandes sur les capteurs d'extrémité et diminuent graduellement en s'approchant du centre du réseau. Le coefficient de force normale de crête des capteurs d'extrémité est $\pm$ 5,2. Il est de bonne pratique de concevoir tout le réseau pour qu'il puisse supporter les surcharges d'extrémité.

3.3 Position relative du réseau sur le toit

Le déplacement d'un réseau de capteurs soit vers le bord nord soit vers le bord sud du toit a pour effet de faire augmenter la charge exercée sur les capteurs centraux et de faire diminuer celle qui s'exerce sur les capteurs d'extrémité, d'un facteur d'environ 10%.

Lorsqu'un réseau est monté soit près du bord nord soit près du bord sud du toit, la charge s'exerçant sur les capteurs centraux est donc environ 10% plus élevée que dans le cas de référence.

3.4 Distance au toit

Il a été constaté que le fait d'avoir porté de 1 m à 3 m la distance entre les capteurs et le toit a entraîné une légère augmentation des charges de moins de 10%. Cet effet peut être attribuable à la réduction des interactions aérodynamiques entre les capteurs et la surface du toit.

La surcharge ainsi créée pour les capteurs centraux et les capteurs d'extrémité peut être considérée comme la même que dans le cas de référence.

3.5 Inclinaison des capteurs

La charge s'exerçant sur les capteurs centraux et d'extrémité est réduite de 10% comparativement au cas de référence (inclinaison de 45°) quand ces capteurs sont inclinés à 30°, tandis qu'elle augmente de 10% lorsqu'ils sont inclinés à 60°.

Quand les capteurs doivent être inclinés à 30° ou à 60°, les charges peuvent être déterminées en se reportant au cas de référence donné au Tableau 1 pour les capteurs centraux et d'extrémité.

3.6 Effet des parapets de toit sur la charge des capteurs

3.6.1 Capteurs centraux

Il a été constaté que l'ajout d'un paraquet de toit à l'immeuble augmente les charges exercées sur les capteurs centraux d'environ 10%, quand la hauteur du parapet est égale à la distance entre les capteurs et la surface du toit. Les charges chutent par contre de 10% quand la hauteur du parapet est égale au double de la distance entre les capteurs et la surface du toit.

Dans les deux cas, le concepteur peut considérer que la charge est équivalente à celle qu'on donne dans le cas de référence pour les capteurs centraux.

3.6.2 Capteurs d'extrémité

L'effet de la présence d'un parapet de toit sur la charge des capteurs d'extrémité est de réduire celle-ci, peu importe la hauteur du parapet. Lorsque sa hauteur est égale à la distance entre le capteur et la surface du toit, la charge est ramenée à moins de 60% de la charge qui s'exerce en l'absence d'un parapet.

La pression s'exerçant sur les capteurs d'extrémité montés sur des toits avec parapet est donné au Tableau 1 pour diverses villes.

3.7 Effet d'encadrement des rangées voisines de capteurs

L'effet d'encadrement sur la charge s'exerçant sur la rangée la plus au sud est nul, peu importe que l'espacement soit de 5 m, 7,5 m ou 10 m et peu importe que le capteur soit central ou d'extrémité.

La charge s'exerçant sur les capteurs centraux des rangées médianes peut être ramenée à 57% de la charge s'exerçant sur ces capteurs dans le cas de référence. Il n'est toutefois pas de bonne pratique de miser sur cette réduction car l'emploi dans un même réseau de capteurs présentant des caractéristiques non uniformes de résistance à la charge est peu commode.

3.8 Effet des plaques réflectrices

Par plaques réflectrices, on entend des plaques qui ferment le dos d'un réseau, depuis le haut des capteurs solaires jusqu'au toit. L'ajout de telles plaques réduit la charge s'exerçant sur les capteurs centraux et sur les capteurs d'extrémité. Il y a toutefois lieu de noter que la charge est transférée directement à la structure de montage. La structure de montage doit donc être conçue en conséquence.

L'ajout de telles plaques a permis de réduire la charge s'exerçant sur les capteurs centraux et d'extrémité respectivement de 57% et 72%. Pour tous les emplacements donnés au tableau, les capteurs munis de plaques réflectrices ne submissent pas de charge supérieure à 2,0 kPa.

Il y a lieu enfin de noter que l'ajout de plaques réflectrices peut se traduire par une augmentation des charges dues à la neige s'exerçant sur la structure de montage [5].

3.9 Réseau à deux étages

La charge s'exerçant sur l'étage supérieur d'un réseau à deux étages n'est que légèrement réduite. Cette réduction étant inférieure à 5%, il est recommandé que la charge prévue s'exerçant sur les capteurs centraux et d'extrémité soit celle du cas de référence.

4.0 CAPTEURS MONTÉS SUR TOIT EN PENTE

4.1 Cas de référence

Dans les essais en soufflerie, on a choisi pour le cas de référence un toit d'une pente de 4/12, pente typique de nombreuses maisons canadiennes. La base du réseau de capteurs a été située directement au-dessus du mur sud du bâtiment, en laissant une distance nulle entre la base des capteurs et le toit. Les capteurs ont été inclinés à 45°.

L'équation (2), présentée dans le cas de référence pour des capteurs montés sur toit plan, peut aussi servir à calculer la pression statique s'exerçant sur des capteurs montés sur toit incliné. Le coefficient de force normale de crête (Cfn) est $\pm$ 3,8.

Dans les réseaux montés sur toit incliné, tous les capteurs subissent des charges créées par les tourbillons qui prennent naissance au bord du toit. Par suite, il n'est plus possible de faire la distinction entre capteurs centraux et capteurs d'extrémité.

Puisque la différence entre les charges s'exerçant sur les installations montées sur toit plan et sur toit incliné n'est que de 5%, les charges qui ont été mesurées pour les instaliations de référence montées sur toit incliné peuvent être considérées comme étant les mêmes que pour les capteurs centraux montés sur toit plan.

4.2 Montage des capteurs près du sommet du toit

Le montage des capteurs au bas de la pente du toit faisant face au sud les abrite en partie des vents du nord. A l'opposé, leur montage près du sommet du toit a pour effet d'accroître les charges dues aux vents (voir Tableau 1).

4.3 Distance du toit

Comparativement à la charge s'exerçant dans le cas de référence, la charge s'exerçant sur les capteurs augmente de 45% quand la distance entre la base des capteurs et le toit est portée de 0,5 m à 1 m. Les valeurs de conception pour capteurs élevés sont données au Tableau 1.

4.4 Plaques réflectrices

Le fait de doter les réseaux montés sur toit incliné de plaques réflectrices réduit les charges s'exerçant sur les capteurs de 10%.

Ces plaques doivent s'étendre du dessus des capteurs jusqu'à la surface du toit.

Il y a lieu de noter que la réduction de la charge est transférée à la structure portante et, par suite, au toit.

5.0 CAPTEURS MONTÉS AU SOL

Comparativement aux capteurs montés sur toit, les charges s'exerçant sur les capteurs montés au sol, avec une inclinaison de 45° et une distance au sol d'un mètre, sont réduites de 20%. Il y a lieu de noter que les capteurs d'extrémité subissent les mêmes charges que les capteurs centraux. Les pressions de conception sont données au Tableau 1 pour les emplacements figurant sur la liste.

6.0 CONCLUSION

Les concepteurs de systèmes solaires doivent être bien conscients des particularités de l'emplacement qui peuvent influer sur les charges dues aux vents s'exerçant sur les capteurs solaires. Autant que faire se peut, les réseaux doivent être montés de telle façon que les conditions limites de l'INES ne soient pas dépassées (c.-à-d. 1,5 kPa pour les charges positives de 2,0 kPa pour les charges négatives). Il est à noter que les charges dues aux vents dans les villes ne figurant pas au Tableau 1 peuvent être calculées à l'aide de l'équation (2) et des pressions dynamiques de probabilité annuelle de 1/10 données dans le Supplément du Code national du bâtiment du Canada.

7.0 RÉFÉRENCES

1. "Code national du bâtiment du Canada", CNRC n° 17303, Comité associé du Code national du bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, 1980.

2. "Supplément du Code national du bâtiment du Canada", CNRC n° 17724, Comité associé du Code national du bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, 1980.

3. Irwin, P.A. et Gamble, S.L., "Wind Loads on Solar Collectors", Programme de l'énergie solaire, rapport n° Coll-15, Conseil national de recherches, juillet 1982.

4. Allen, D.W., "Structural Criteria for Solar Collectors", Division des structures du bâtiment, Conseil national de recherches, février 1982.

5. Irwin, P.A., Gamble, S.L. et Lepage, Rapport M.F.L., "Snow and Wind Loads on Solar Collectors", Rapport n° 04SX.31155-2-2701, Conseil national de recherches du Canada, juillet 1982.

TABLEAU 1

EMPLACEMENT	q_{10}	CAS DE RÉFÉRENCE		CAPTEURS MONTÉS SUR TOIT PLAN		CAPTEURS MONTÉS SUR TOIT INCLINÉ		
		Capteurs centraux	Capteurs d'extrémité	Capteurs d'extrémité sur toit avec parapet	Capteurs d'extrémité avec plaques réflectrices	Capteurs près du sommet	Distance entre capteur et toit	Capteurs montés au sol
		Pression de conception	Pression de conception	Pression de conception	Pression de conception	Pression de conception	Pression de conception	Pression de conception
	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)
ALBERTA								
Banff	0.39	2.11	3.04	2.13	2.34	2.13	2.34	
Calgary	0.40	2.16	3.12	2.18	2.40	2.18	2.40	
Coronation	0.23							
Edmonton	0.32		2.50					
Fort McMurray	0.27		2.11					
Grande Prairie	0.37		2.89	2.02	2.22	2.02	2.22	
Jasper	0.37		2.89	2.02	2.22	2.02	2.22	
Lethbridge	0.64	3.46	4.99	3.49	3.84	3.49	3.84	3.04
Medicine Hat	0.39	2.11	3.04	2.13	2.34	2.13	2.34	
Peace River	0.24							
Red Deer	0.31		2.42					
COLOMBIE-BRITANNIQUE								
Abbotsford	0.42	2.27	3.28	2.29	2.52	2.29	2.52	
Castlegar	0.23							
Comox	0.45	2.43	3.51	2.46	2.70	2.46	2.70	
Cranbrook	0.22							
Fort Nelson	0.19							
Fort St. John	0.31		2.42					
Kamloops	0.30		2.34					
Penticton	0.40	2.16	3.12	2.18	2.40	2.18	2.40	
Port Hardy	0.49	2.65	3.82	2.68	2.94	2.68	2.94	2.33
Prince George	0.25							
Prince Rupert	0.42	2.27	3.28	2.29	2.52	2.29	2.52	
Revelstoke	0.24							
Terrace	0.36		2.81		2.16		2.16	
Vancouver	0.45	2.43	3.51	2.46	2.70	2.46	2.70	
Victoria	0.48	2.59	3.74	2.62	2.88	2.62	2.88	2.28
Williams Lake	0.30		2.34					

NOTE: Les blancs au tableau indiquent que la pression de conception pour la condition de montage donnée à l'emplacement donné est inférieure aux limites d'essais de l'INES.

EMPLACEMENT	q_{10}	CAS DE RÉFÉRENCE		CAPTEURS MONTÉS SUR TOIT PLAN		CAPTEURS MONTÉS SUR TOIT INCLINÉ		
		Capteurs centraux	Capteurs d'extrémité	Capteurs d'extrémité sur toit avec parapet	Capteurs d'extrémité avec plaques réflectrices	Capteurs près du sommet	Distance entre capteur et toit	Capteurs montés au sol
	(kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)
MANITOBA								
Brandon	0.37		2.89	2.02	2.22	2.02	2.22	
Churchill	0.48	2.59	3.74	2.62	2.88	2.62	2.88	2.28
Dauphin	0.31		2.42					
The Pas	0.35		2.73		2.10		2.10	
Thomson	0.49	2.65	3.82	2.68	2.94	2.68	2.94	2.33
Winnipeg	0.35		2.73		2.10		2.10	
NOUVEAU-BRUNSWICK								
Chatham	0.29		2.26					
Fredericton	0.30		2.34					
Moncton	0.46	2.48	3.59	2.51	2.76	2.51	2.76	2.19
Saint John	0.38	2.05	2.96	2.07	2.28	2.07	2.28	
TERRE-NEUVE								
Gander	0.46	2.48	3.59	2.51	2.76	2.51	2.76	2.19
Goose Bay	0.29		2.26					
St. John's	0.60	3.24	4.68	3.28	3.60	3.28	3.60	2.85
Stephenville	0.62	3.35	4.84	3.39	3.72	3.39	3.72	2.95
TERRITOIRES DU NORD-OUEST								
Aklavik	0.37		2.89	2.02	2.22	2.02	2.22	
Fort Smith	0.30		2.34					
Frobisher Bay	0.56	3.02	4.37	3.06	3.36	3.06	3.36	2.66
Inuvik	0.39	2.11	3.04	2.13	2.34	21.3	2.34	
Resolute	0.52	2.81	4.06	2.84	3.12	2.84	3.12	2.47
Yellowknife	0.34		2.65		2.04		2.04	

NOTE: Les blancs au tableau indiquent que la pression de conception pour la condition de montage donnée à l'emplacement donné est inférieure aux limites d'essais de l'INES.

EMPLACEMENT	q_{10}	CAS DE RÉFÉRENCE		CAPTEURS MONTÉS SUR TOIT PLAN		CAPTEURS MONTÉS SUR TOIT INCLINÉ		
		Capteurs centraux	Capteurs d'extrémité	Capteurs d'extrémité sur toit avec parapet	Capteurs d'extrémité avec plaques réflectrices	Capteurs près du sommet	Distance entre capteur et toit	Capteurs montés au sol
	(kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)
NOUVELLE-ÉCOSSE								
Halifax	0.40	2.16	3.12	2.18	2.40	2.18	2.40	
Sydney	0.47	2.54	3.67	2.57	2.82	2.57	2.82	2.23
Truro	0.37		2.89	2.02	2.22	2.02	2.22	
Yarmouth	0.41	2.21	3.20	2.24	2.46	2.24	2.46	
ONTARIO								
Armstrong	0.21							
Earlton	0.32		2.50					
Kapuskasing	0.23							
Kenora	0.20							
Kingston	0.35		2.73		2.10		2.10	
London	0.36		2.81		2.16		2.16	
Moosonee	0.19							
Mount Forest	0.29		2.26					
Muskoka	0.19							
North Bay	0.26		2.03					
Ottawa	0.30		2.34					
Simcoe	0.33		2.57		1.98		1.98	
Sudbury	0.29		2.26					
Thunder Bay	0.25							
Timmins	0.25							
Toronto	0.39	2.11	3.04	2.13	2.34	2.13	2.34	
Trenton	0.35		2.73		2.10		2.10	
Wiarton	0.33		2.57		1.98		1.98	
Windsor	0.29		2.26					
ILE-DU-PRINCE-ÉDOUARD								
Charlottetown	0.46	2.48	3.59	2.51	2.76	2.51	2.76	2.19

NOTE: Les blancs au tableau indiquent que la pression de conception pour la condition de montage donnée à l'emplacement donné est inférieure aux limites d'essais de l'INES.

EMPLACEMENT	q_{10}	CAS DE RÉFÉRENCE		CAPTEURS MONTÉS SUR TOIT PLAN		CAPTEURS MONTÉS SUR TOIT INCLINÉ		
		Capteurs centraux	Capteurs d'extrémité	Capteurs d'extrémité sur toit avec parapet	Capteurs d'extrémité avec plaques réflectrices	Capteurs près du sommet	Distance entre capteur et toit	Capteurs montés au sol
	(kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)	Pression de conception (kPa)
QUÉBEC								
Bagotville	0.27		2.11					
Baie Comeau	0.55	2.97	4.29	3.00	3.30	3.00	3.30	2.61
Maniwaki	0.24							
Mont Joli	0.54	2.92	4.21	2.95	3.24	2.95	3.24	2.57
Montreal	0.31		2.42					
PS D L BA	0.64	3.46	4.99	3.49	3.84	3.49	3.84	3.04
Quebec	0.38	2.05	2.96	2.07	2.28	2.07	2.28	
Rivière du Loup	0.41	2.21	3.20	2.24	2.46	2.24	2.46	
Schefferville	0.33		2.57		1.98		1.98	
Sherbrooke	0.21							
Val d'Or	0.24							
SASKATCHEWAN								
Estevan	0.42	2.27	3.28	2.29	2.52	2.29	2.52	
Prince Albert	0.26		2.03					
Regina	0.34		2.65		2.04		2.04	
Saskatoon	0.36		2.81		2.16		2.16	
Swift Current	0.46	2.48	3.59	2.51	2.76	2.51	2.76	2.19
Yorkton	0.32		2.50					
YUKON								
Dawson City	0.20							
Whitehorse	0.28		2.18					

NOTE: Les blancs au tableau indiquent que la pression de conception pour la condition de montage donnée à l'emplacement donné est inférieure aux limites d'essais de l'INES.